

**SHORT COMMUNICATION: BIOREMEDIASI PADA SISTEM BUDIDAYA PERIKANAN***Short Communication: Bioremediation in Aquaculture System***ANDRI KURNIAWAN****Jurusan Budidaya Perairan, Universitas Bangka Belitung**  
✉ **Universitas Bangka Belitung, Jl. Merdeka No.04 Pangkalpinang****Abstract**

Aquaculture is one of the important chain in fisheries bioindustry development. Aquaculture is a production unit that can sustain availability of animal protein of fisheries commodity, both raw materials nor food for consumption. In the implementation, aquaculture system generates considerable organic and anorganic wastes, consisting of metabolism products, residual foods, feces, chemical residues, and others that cause water quality deterioration and disease outbreaks. As a result, aquaculture is considered as a potential polluter and a cause of degradation of the aquatic environment. Bioremediation is an integrated and complex system of environmental management program. It is done by using a macro or microorganism and can also by using some combination of them that specifically target particular pollutants. This short communication attempts to describe and elaborate bioremediation present status and future prospect for sustainability of aquaculture system development.

*Keywords : Bioremediation, Aquaculture, Environment, Sustainability Development*

**PENDAHULUAN**

Pertambangan timah adalah sektor andalan bagi Provinsi Kepulauan Bangka Belitung sebagai sumber pendapatan asli daerah dari sektor tambang. Aktivitas penambangan ini telah dilakukan lebih dari 56 tahun kemerdekaan Negara Republik Indonesia, bahkan pada saat sistem keranjaan masih berlangsung di Sumatera Selatan. Suatu kenyataan bahwa bahwa Propinsi Kepulauan Bangka Belitung merupakan penghasil timah terbesar di Indonesia dan memberi kontribusi sumbangan devisa yang besar dari sektor pertambangan.

Di dalam pengembangan sektor budidaya perikanan, salah satu hal yang perlu diperhatikan adalah kualitas lingkungan. Lingkungan hidup organisme yang dimaksud adalah air. Oleh karena itu, di dalam budidaya perikanan sudah seharusnya yang menjadi pijakan awal adalah membudidayakan air agar berkualitas sebagai media hidup organisme perairan. Berbagai penelitian telah menerangkan bahwa kualitas air sangat mempengaruhi kualitas kehidupan organisme di dalamnya. Karakteristik sifat fisika, kimia, dan biologi suatu perairan sangat mempengaruhi kehidupan organisme akuatik, termasuk kesehatan, pertumbuhan, dan bahkan perkembangbiakannya.

Perairan adalah habitat bagi kehidupan organisme budidaya. Pemeliharaan parameter-parameter lingkungan perairan, baik faktor kimia, faktor fisika, serta faktor biologi merupakan suatu keniscayaan untuk menciptakan lingkungan yang

ideal bagi pertumbuhan organisme budidaya. Parameter-parameter fisika, kimia, dan biologi perairan harus dikelola sebaik mungkin sehingga optimal untuk kehidupan organisme yang dibudidayakan. Pada hakikatnya, suatu aktivitas budidaya perikanan dapat berjalan dengan baik manakala kondisi lingkungan perairan telah dibudidayakan dengan baik pula sesuai dengan kebutuhan organisme yang mendiaminya.

Pengendalian kualitas lingkungan perairan dari ketercemaran mutlak diperlukan untuk dapat menjamin produktivitas organisme. Sumber bahan pencemar baik organik maupun anorganik yang dapat berasal dari aktivitas organisme perairan, seperti produk hasil metabolisme, kelebihan pakan yang tidak dimakan, serta limbah organik dan anorganik lainnya harus direduksi dari perairan sehingga tidak mengganggu kehidupan organisme perairan tersebut.

Bioremediasi adalah salah satu konsep pengendalian lingkungan dengan menggunakan agen hayati maupun hasil metabolisme kehidupannya untuk memperbaiki kualitas yang buruk sehingga dapat digunakan secara optimal dan ditingkatkan produktivitasnya. Di dalam konteks akuakultur, salah satu tujuan bioremediasi adalah mendukung pengembangan sektor budidaya perikanan yang produktif dan berkelanjutan melalui optimalisasi kualitas lingkungan perairan.

### **LIMBAH DI PERAIRAN BUDIDAYA**

Kualitas perairan mempengaruhi kesehatan dan produktivitas ikan, udang, ataupun komoditas budidaya lainnya. Faktor-faktor fisika, kimia, dan biologi di lingkungan budidaya berperan di dalam menciptakan kondisi perairan tersebut (Antony dan Philip, 2006). Faktor-faktor tersebut yang dapat mengganggu kualitas perairan dinamakan limbah perairan atau polutan. Menurut Miller dan Semmens (2002), limbah perairan dikelompokkan menjadi tiga bentuk umum, yaitu limbah metabolik, limbah kimiawi, serta limbah patogenik.

Limbah yang dihasilkan di suatu perairan berasal dari aktivitas harian ikan atau organisme budidaya lainnya biasanya berupa limbah pakan dan produk metabolit. Jenis limbah ini dihasilkan dari aktivitas metabolisme, ekskresi, dan pakan yang tidak dimakan dan terakumulasi di perairan dalam bentuk senyawa terlarut ataupun solid tersuspensi.

Menurut Bureau (2004), limbah N (nitrogen) dan P (phosphorus) merupakan beberapa jenis limbah metabolik yang dihasilkan pada sistem budidaya. Limbah N dan P membatasi produktivitas dan dapat menyebabkan terjadinya degradasi lingkungan. Keberadaan limbah N dan P dapat dipengaruhi oleh faktor endogenous (biologi) dan exogenous (pakan dan lingkungan).

Nitrogen merupakan fraksi protein pada pakan dan ekskresi nitrogen berhubungan erat dengan efisiensi pemanfaatan protein. Menurut Cao *et al.*, (2007), senyawa nitrogen (amonia, nitrit, dan nitrat) dianggap sebagai kontaminan utama di air limbah akuakultur. Amonia adalah limbah nitrogen utama diproduksi oleh organisme air. Kaushik dan cowey (1991) menjelaskan bahwa limbah nitrogen yang diekskresikan sebagai hasil metabolisme ikan sebesar sekitar 80-90% berupa ammonia, sedangkan urea pada umumnya hanya merepresentasikan 10-15% dari limbah nitrogen terlarut.

Phosphor merupakan mineral esensial untuk ikan dan makhluk hidup pada umumnya. Menurut Lovell *et al.*, (1993), phosphor merupakan konstituen penting dari asam nukleat dan membran sel, dan secara langsung terlibat dalam semua energi yang memproduksi reaksi seluler. Phosphor juga berperan di dalam metabolisme karbohidrat, lipid, asam amino, serta berbagai proses metabolisme yang melibatkan buffer cairan tubuh. Akan tetapi, menurut Flimlin *et al.*, (2003) kelebihan senyawa phosphor dapat menimbulkan permasalahan. Di dalam konteks budidaya, tingkat limbah phosphor yang berlebih akan menjadi ancaman serius bagi lingkungan perairan. Menurut Lazzari dan Baldisserotto (2008), keberadaan limbah phosphor dan nitrogen sebagai bagian dari produk akhir metabolisme ikan bukan hanya dapat mempengaruhi media pemeliharaan, tetapi juga lingkungan secara keseluruhan. Ekskresi phosphor biasanya 69-86% dari pakan, tergantung dari asal bahan dan cara konsumsi yang berbeda pada spesies yang berbeda. Diperjelas oleh Gatlin (2010), phosphor adalah

makromineral yang perlu mendapatkan perhatian khusus di dalam pakan ikan karena ketersediaannya sangat sedikit di air alam. Meskipun demikian, phosphor yang diekskresikan dapat menyebabkan eutrofikasi air.

Selain limbah hasil metabolisme, limbah kimiawi dan patogenik juga sering ditemukan di perairan. Limbah kimia biasanya berasal dari bahan kimia yang digunakan selama proses budidaya, antara lain obat-obatan kimiawi, bahan aditif pada pakan, bahan khemoterapi, desinfektan, pestisida, herbisida, bahan antibusuk, atau limbah kimia aktivitas manusia yang dialirkan ke perairan. Sedangkan limbah patogenik dapat berasal dari mikroorganisme yang cenderung menyebabkan penyakit di perairan, antara lain bakteri, jamur, parasit, dan virus.

### **KONSEP BIOREMEDIASI**

Bioremediasi adalah aktivitas remediasi dengan menggunakan metabolisme mikroorganisme untuk menghilangkan polutan. Bioremediasi dapat terjadi sendiri (atenuasi alam atau bioremediasi intrinsik) atau dapat didorong melalui penambahan senyawa untuk meningkatkan bioavailabilitas dalam suatu media (biostimulation). Bioremediasi dapat dikelompokkan ke dalam bioremediasi in situ (bioremediasi di lokasi tercemar) dan ex situ (dikeluarkan dari lokasi awalnya). Beberapa contoh teknik bioremediasi antara lain *phytoremediation*, *rhizofiltration*, *bioaugmentation*, *biostimulation*, *bioventing*, *composting*, *landfarming*, *bioleaching*, dan *bioreactor* (Sharma, 2012). Secara definisi, *phytoremediation* diartikan sebagai remediasi yang menggunakan bantuan tumbuh-tumbuhan. Pada prinsipnya, *rhizofiltration* juga bagian dari *phytoremediation* melalui pendekatan dengan menggunakan akar tanaman untuk meremediasi kontaminasi dengan proses absorpsi, konsentrasi, dan presipitasi polutan (Wikipedia, 2012). Lebih lanjut, Malik (2006) menjelaskan bioaugmentasi diartikan sebagai penambahan mikroorganisme pendegradasi cemaran (alami, diaklimatisasi, eksotis, ataupun direkayasa secara genetis) guna meningkatkan kapasitas biodegradatif populasi mikroba aslinya. *Biostimulation* adalah proses menambahkan nutrisi tertentu di lokasi (tanah atau air) untuk merangsang aktivitas mikroorganisme asli. Sedangkan *bioventing* hampir mirip dengan *biostimulation*, tetapi melibatkan ventilasi (*venting*) oksigen melalui tanah untuk merangsang pertumbuhan mikroorganisme alami atau yang diintroduksi. *Composting* adalah suatu proses aerobik dengan proses perlakuan termofilik dimana bahan yang terkontaminasi dicampur dengan suatu *bulking agent* (kompos yang kaya mikroorganisme bioremediasi). *Landfarming* adalah sebuah sistem pengelolaan fase padat untuk tanah terkontaminasi dimana penggarapan dan teknik perubahan tanah dilakukan dengan cara mendorong pertumbuhan

mikroorganisme yang menguntungkan di daerah terkontaminasi.

Perpetuo *et al.*, (2011) mempertegas bahwa bioremediasi merupakan proses yang menggunakan mikroorganisme atau enzimnya untuk mendegradasi dan/atau menghilangkan kontaminan dari suatu lingkungan. Penggunaan kemampuan metabolisme mikroba untuk degradasi atau menghilangkan polutan lingkungan memberikan alternatif ekonomi dan aman dibandingkan dengan metodologi fisikokimia lainnya. Vidali (2001) mengatakan bioremediasi merupakan pilihan yang menawarkan kemungkinan untuk menghancurkan atau membuat tidak berbahaya berbagai kontaminan dengan menggunakan aktivitas biologis alami yang relatif murah, teknik teknologi yang rendah, memiliki penerimaan publik yang tinggi, dan sering dapat dilakukan.

Bioremediasi bukanlah teknologi baru. Salah satu buktinya adalah ditemukannya tumpukan kompos sejak 6000 SM dan pada tahun 1891 pabrik pengolahan limbah secara biologis pertama diciptakan di Sussex, Inggris. Walaupun kata "bioremediasi" tidak muncul dalam peer-review literatur ilmiah sampai dengan tahun 1987 (Nabir, 2003).

Pada perkembangannya, proses transformasi cemaran menjadi bahan yang tidak atau kurang berbahaya di dalam proses bioremediasi tidak hanya melibatkan bakteri-bakteri pengurai. Akan tetapi, dapat juga "mempekerjakan" jamur, ganggang, dan tanaman sebagaimana yang telah banyak digunakan (Hornung, 2004). Menn *et al.*, (2008) menjelaskan bahwa selama 20 tahun terakhir, teknik DNA rekombinan telah dipelajari secara intensif untuk meningkatkan degradasi limbah berbahaya di bawah kondisi laboratorium (in vitro). Teknik rekombinan ini menggunakan bakteri melalui teknik rekayasa genetika atau pertukaran genetik alami antara bakteri. Pemanfaatan GEM (*genetically engineered microorganisms*) di dalam proses bioremediasi telah mendapat banyak perhatian, meskipun aplikasinya baru terbatas pada uji laboratorium. Dari berbagai referensi ilmiah, Menn *et al.*, (2008) menguraikan beberapa jenis mikroorganisme dan peranannya di dalam proses bioremediasi disajikan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Genetic Engineering for Biodegradation of Contaminants

Microorganism	Modification	Contaminants	Reference
<i>Pseudomonas</i> sp. B13	Pathway	Mono/Dichloro benzoates	Reineke and Knackmuss, 1979, 1980
<i>P. putida</i>	Pathway	4-Ethylbenzoate	Ramos <i>et al.</i> , 1987
<i>P. putida</i> KT2442	Pathway	Toluene, Benzoate	Panke <i>et al.</i> , 1998
<i>Pseudomonas</i> sp. FR1	Pathway	Chloro-methyl benzoates	Rojo <i>et al.</i> , 1987
<i>C. testosteroni</i> VP44	Substrate specificity	o-,p-mono chlorobiphenyls	Hrywna <i>et al.</i> , 1999
<i>Pseudomonas</i> sp. LB 400	Substrate specificity	PCB	Erickson and Mondello, 1993
<i>E. coli</i> JM109	Substrate	PCB, Benzene,	Kumamru

(pSHF1003)	specificity	Toluene	<i>et al.</i> , 1998
<i>P. pseudocaligenes</i> KF707-D2	Substrate specificity	TCE, Toluene, Benzene	Suyama <i>et al.</i> , 1996
<i>E. coli</i> FM5/pKY287	Regulation	TCE, Toluene	Winter <i>et al.</i> , 1989

Sumber: Menn *et al.*, (2008)

Tabel 2. Genetic Engineering for Biodegradation Process Efficacy

Microorganism	Modification	Contaminants	Reference
<i>A. eutrophus</i> H850Lr	process monitoring	PCB	Van Dyke <i>et al.</i> , 1996
<i>P. putida</i> TVA8	process monitoring	TCE, BTEX	Applegate <i>et al.</i> , 1998
<i>P. fluorescens</i> HK44	process monitoring	Naphthalene, Anthracene, Phenanthrene	Sayler <i>et al.</i> , 1999
<i>B. cepacia</i> BR16001L	strain monitoring	2,4-D	Masson <i>et al.</i> , 1993
<i>P. fluorescens</i> 10586s/pUCD 607	stress response	BTEX	Sousa <i>et al.</i> , 1998
<i>P. fluorescens</i> 10586s/pUCD 607	toxicity assessment	Chlorobenzene, Chlorophenols, BTEX	Boyd <i>et al.</i> , 1998; Sinclair <i>et al.</i> , 1999; Glover <i>et al.</i> , 1999
<i>Pseudomonas</i> strain Shk1	toxicity assessment	Cd, 2,4-Dinitrophenol, Hydroquinone	Kelly <i>et al.</i> , 1999
<i>A. eutrophus</i> 2050	end point analysis	Nonpolar Narcotics	Layton <i>et al.</i> , 1999

Sumber: Menn *et al.*, (2008)

Ditambahkan oleh Perpetuo *et al.*, (2011), sejumlah mikroorganisme juga berperan di dalam bioremediasi logam berat. Beberapa spesies yang dimanfaatkan di dalam remediasi logam berat ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 1. Genetic Engineering for Biodegradation of Contaminants

Organism	Genus/species	Reference
Bacteria	<i>Arthrobacter</i>	Roanne & Pepper, 2001
	<i>Bacillus</i> sp	Gupta <i>et al.</i> , 2000; Dias <i>et al.</i> , 2002; Kim <i>et al.</i> , 2007
	<i>Citrobacter</i>	Renninger <i>et al.</i> , 2001
	<i>Cupriavidus metallidurans</i>	Roanne & Pepper, 2001; Grass <i>et al.</i> , 2005
	<i>Cyanobacteria</i>	Gupta <i>et al.</i> , 2000
	<i>Enterobacter cloacae</i>	Hernandes <i>et al.</i> , 1998; Gupta <i>et al.</i> , 2000
	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Dias <i>et al.</i> , 2002; Zhang <i>et al.</i> , 2005
	<i>Streptomyces</i> sp	Dias <i>et al.</i> , 2002
	<i>Zoogloea ramigera</i>	Gupta <i>et al.</i> , 2000
Archaea	<i>Filo crenarchaeota</i>	Sandaa <i>et al.</i> , 1999
	<i>Phanerochaete chrysosporium</i>	Wu & Yu, 2007
Fungi	<i>Aspergillus terreus</i>	Kumar <i>et al.</i> , 2008
	<i>Penicillium chrysogenum</i>	Dias <i>et al.</i> , 2002
Yeast	<i>Candida utilis</i>	Kujar <i>et al.</i> , 2006
	<i>Hansenula anomala</i>	Breierová <i>et al.</i> , 2002
	<i>Rhodotorula mucilaginosa</i>	Dias <i>et al.</i> , 2002
	<i>Rhodotorula rubra</i>	Ghosh <i>et al.</i> , 2006
	<i>GVA5</i>	
	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Gupta <i>et al.</i> , 2000; Dias <i>et al.</i> , 2002; Ghosh <i>et al.</i> , 2006

Sumber: Perpetuo *et al.*, (2011),

### **BIOREMEDIASI DI LINGKUNGAN BUDIDAYA PERAIRAN**

Penerapan bioremediasi pada kegiatan budidaya perikanan memberikan dampak positif, bukan hanya pada lingkungan tetapi juga pada produktivitasnya. Menurut Chanu dan Mandal (2013), beberapa hal yang diperoleh pada aplikasi bioremediasi di lingkungan budidaya antara lain:

- a) Untuk mengatur mikroflora budidaya air dan mikroorganisme patogen.
- b) Untuk meningkatkan dekomposisi bahan organik yang tidak diinginkan dalam air budidaya dan memperbaiki ekologi lingkungan budidaya dengan meminimalkan gas beracun seperti amonia, nitrit, hidrogen sulfida, metana, dan lain-lain
- c) Untuk meningkatkan populasi sumber makanan dengan cara meningkatkan tingkat pakan organisme budidaya dan kekebalan tubuhnya terhadap patogen.
- d) Untuk mencegah terjadinya wabah penyakit

Pada aplikasinya di bidang budidaya perikanan, beberapa jenis mikroorganisme telah diteliti untuk diperankan sebagai agen remediasi lingkungan budidaya. Menurut Moriarty *et al.*, (2005), kelompok Genus *Bacillus* seperti *B. subtilis* dan *B. licheniformis* sering dijadikan sebagai bakteri probiotik komersial lingkungan perairan. Moriarty (1999), spesies dari *Bacillus* mampu menghambat aktivitas bakteri *Vibrio* yang sering mengganggu di dalam budidaya udang. Thomas *et al.*, (1992) menjelaskan bahwa bakteri *Pseudomonas*, *Nitrosobacter* spp, *Nitrosospora* spp, *Nitrosomonas* spp, *Rhodoseudomonas*, *Acinetobacter*, serta *Cellulomonas* juga sering berperan dalam bioremediasi. Mayer (2013) menambahkan strain bakteri yang digunakan sebagai probiotik di dalam kegiatan budidaya, antara lain *Bacillus* spp, *Paracoccus*, *Bifidobacterium*, *Enterococcus*, *Pediococcus*, *Saccharomyces*, *Lactobacillus*, *Streptococcus*, *Nitrobacter*, dan *Thiobacillus*.

### **SIMPULAN**

Permasalahan terkait kualitas air di dalam lingkungan budidaya perlu mendapatkan perhatian lebih dikarenakan kehidupan organisme perairan sangat tergantung padanya. Konsekuensi logis dari hal tersebut adalah kualitas kehidupan organisme berhubungan erat dipengaruhi oleh kualitas media hidupnya, yaitu air.

Ketercemaran perairan dapat disebabkan dari sumber fisik, kimia, maupun biologi yang berasal dari lingkungan internal perairan maupun introduksi dari lingkungan eksternalnya. Ketidakseimbangan lingkungan dapat berdampak negatif sehingga dapat

menimbulkan penyakit dan bahkan kematian organisme.

*Recovery* lingkungan dapat terjadi secara alami, meskipun berjalan dengan lambat. Oleh karenanya, introduksi agen-agen bioremediasi diperlukan untuk sebagai biokatalisator terjadinya akselerasi perbaikan lingkungan melalui peran biodegradasi cemaran. Pemanfaatan agen biologis memberi efek positif terhadap eksistensi kualitas lingkungan. Aplikasi bioremediasi pada kegiatan budidaya perairan dinilai penting untuk membantu memelihara kualitas perairan sehingga komoditas yang dibudidayakan dapat hidup dengan baik dan produktivitasnya meningkat. Meskipun demikian, kajian terkait efektivitas pemanfaatan bioremediasi perlu terus ditingkatkan sehingga diperoleh titik optimal penggunaannya.

### **DAFTAR PUSTAKA**

- Antony, S. P dan R. Philip. 2006. Bioremediation in Shrimp Culture Systems. Article. NAGA, WorldFish Center Quarterly Vol. 29 No. 3 & 4 Jul-Dec 2006
- Bureau, D. P. 2004. Factors Affecting Metabolic Waste Outputs in Fish. Fish Nutrition Research Laboratory. Departemenf of Animal and Poultry Science. University of Guelph. Canada
- Cao, L., W. Wang ., Y. Yang ., C. Yang ., Z. Yuan., S. Xiong., dan J. Diana. 2007. Environmental Impact of Aquaculture and Countermeasures to Aquaculture Pollution in China. *Env Sci Pollut Res* 14 (7) 452–462.doi:http://dx.doi.org/10.1065/espr2007.05.426
- Chanu, P. L dan S. C. Mandal. 2013. Concepts of Bioremediation and its Application in Aquaculture. <http://aquafind.com/articles/BioremediationInAquaculture.php>
- Flimlin, G., S. Sugiura., dan R. P. Ferraris. 2003. Examining Phosphorus in Effluents from Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) Aquaculture. Bulletin. Rutgers Cooperative Extension, New Jersey Agricultural Experiment Station, Rutgers. The State University of New Jersey
- Gatlin, D. M. 2010. Principles of Fish Nutrition. SRAC Publication No. 5003 July 2010. Southern Regional Aquaculture Center
- Hornung, U. Soil Venting.(1997). Retrieved July 12, 2004 from <http://cage.rug.ac.be/~ms/LHKW/lhkw.html>. In Leung, M. 2004. Bioremediation: Techniques for Cleaning Up A Mess. *BioTeach Journal*. Vol. 2. Fall 2004. [www.bioteach.ubc.ca](http://www.bioteach.ubc.ca)
- Kaushik, S. J dan C. B. Cowey. 1991. Dietary Factors Affecting Nitrogen Excretion by Fish: In *Nutritional Strategies and Aquaculture Waste*. In Bureau, D. P. 2004.

- Factors Affecting Metabolic Waste Outputs in Fish. Fish Nutrition Reseach Laboratory. Departemenf of Animal and Poultry Science. University of Guelph. Canada
- Lazzari, R dan B. Baldisserotto. 2008. Nitrogen and Phosphorus Waste In Fish Farming. B. Inst. Pesca, São Paulo, 34(4): 591 - 600, 2008
- Lovell, R. T., C. Y. Cho., C. B. Cowey., K. Dabrowski., S. Hughes., S. Lall., T. Murai., R. P. Wilson. 1993. Nutrient Requirements of Fish. Committee on Animal Nutrition. Subcommittee on Fish Nutrition, National Research Council. National Academy Press. Washington, D. C.
- Malik, A. 2006. Environmental Microbiology: Bioremediation. Centre for Rural Development & Technology. Indian Institute of Technology Delhi
- Mayer, E. 2013. Probiotics in Aquaculture Operations. Biomin. 2013-04-25. [http://www.biomin.net/index.php?id=62&type=123&L=0&tx\\_ttnews%5Btt\\_news%5D=474&cHash=7a0b1ccda9a1779efd3c5257d341db5b](http://www.biomin.net/index.php?id=62&type=123&L=0&tx_ttnews%5Btt_news%5D=474&cHash=7a0b1ccda9a1779efd3c5257d341db5b)
- Menn, F. M., Easter, J. P. and Sayler, G. S. (2008) Genetically Engineered Microorganisms and Bioremediation, in *Biotechnology: Environmental Processes II*, Volume 11b, Second Edition, Second Edition (eds H.-J. Rehm and G. Reed), Wiley-VCH Verlag GmbH, Weinheim, Germany. doi: 10.1002/9783527620951.ch21
- Miller, D dan K. Semmens. 2002. Waste Management in Aquaculture. Agricultural and Resource Economics Program. Division of Resource Management. College of Agriculture, Forestry, and Consumer Sciences. West Virginia University. Morgantown
- Moriarty, D. J. W., O. Decamp., dan P. Lavens. 2005. Probiotics in Aquaculture. AQUA Culture AsiaPacific Magazine. September/October 2005
- Moriarty, D. J. W. 1999. Disease Control in Shrimp Aquaculture with Probiotic Bacteria. Microbial Biosystems: New Frontiers Proceedings of the 8th International Symposium on Microbial Ecology. Bell CR, Brylinsky M, Johnson-Green P (eds). Atlantic Canada Society for Microbial Ecology, Halifax, Canada
- Nabir. 2003. Bioremediation of Metals and Radionuclides...What It Is and How It Works. (2003). Retrieved July 12, 2004 from [http://www.lbl.gov/NABIR/generalinfo/03\\_NABIR\\_primer.pdf](http://www.lbl.gov/NABIR/generalinfo/03_NABIR_primer.pdf). In Leung, M. 2004. Bioremediation: Techniques for Cleaning Up A Mess. BioTeach Journal. Vol. 2. Fall 2004. [www.bioteach.ubc.ca](http://www.bioteach.ubc.ca)
- Perpetuo, E. A., C. B. Souza., dan C. A. O. Nascimento. 2011. Engineering Bacteria for Bioremediation. Progress in Molecular and Environmental Bioengineering - From Analysis and Modeling to Technology Applications, Prof. Angelo Carpi (Ed.), ISBN: 978-953-307-268-5. InTech. Europe
- Sharma, S. 2012. Bioremediation: Features, Strategies and Applications. Asian Journal of Pharmacy and Life Science Vol. 2 (2), April-June, 2012. ISSN 2231 – 4423
- Thomas, G.M., Ward, C.H., Raymond, R.L., Wilson, J.T., Loehr, R.C. 1992 Bioremediation. In: Encyclopedia of Microbiology (ed. J. Leperberg), Academic Press, London., pp. 369-385
- Vidali, M. 2001. Bioremediation. An overview. Pure Appl. Chem., Vol. 73, No. 7, pp. 1163–1172, 2001
- Wikipedia. 2012. Rhizofiltration. <http://en.wikipedia.org/wiki/Rhizofiltration>